

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Bakalárska práca

2012

Dušan Griga

Šterbinová anténa

Slot Antenna

Zadání bakalářské práce

Student:

Dušan Griga

Studijní program:

B2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor:

2612R059 Mobilní technologie

Téma:

Štěrbínová anténa

Slot Antenna

Zásady pro vypracování:

Základem kvalitního příjmu rádiového signálu závisí i na použití vhodného typu vysílací antény. Ne vždy je vhodným typem všesměrová nebo úzce směrová anténa. Tato práce si klade za cíl popsat, odsimulovat, navrhnout a vytvořit specifický typ antény. Správnost návrhu je podpořena měřeními vybraných parametrů antény.

1. Popište základní princip funkce štěrbinových antény.
2. Vytvořte návrh antény ve vhodném simulačním programu.
3. Realizujte praktický model štěrbinové antény na zadaný kmitočet.
4. Ověřte správnost návrhu a konstrukce měřeními na vytvořeném prototypu.

Seznam doporučené odborné literatury:

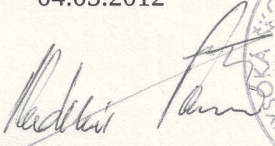
BALANIS, Constantine. *Antenna Theory : Analysis and design*. 3rd edition. United States : Wiley, 2005. 1117 s. ISBN 0-471-66782-X.

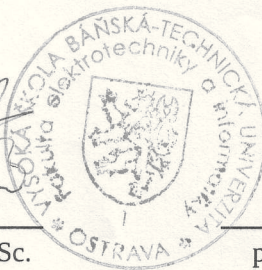
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

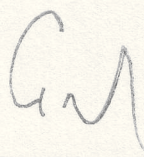
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Marek Dvorský, Ph.D.**

Datum zadání: 18.11.2011

Datum odevzdání: 04.05.2012

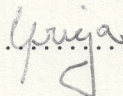

prof. RNDr. Vladimír Vašínek, CSc.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

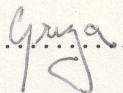
Súhlasím so zverejnením tejto bakalárskej práce podľa požiadavkov čl. 26, odst. 9 Študijných a skúšobných pravidiel pre štúdium v bakalárskych programoch VŠB-TU Ostrava.

V Ostrave 1. marec 2012

..........

Prehlasujem, že som túto bakalársku prácu vypracoval samostatne. Uviedol som všetky literárne pramene a publikácie, z ktorých som čerpal.

V Ostrave 1. marec 2012

..........

Rád by som na tomto mieste poďakoval všetkým, ktorí mi s prácou pomohli, pretože bez nich by táto práca nevznikla. No najviac sa chcem poďakovať pánovi Ing. Marekovi Dvorskému, Ph.D. za cenné rady a pripomienky i odbornú pomoc, ktorú mi poskytol.

Abstrakt

Bakalárska práca je zameraná na základný princíp funkcie štrbinovej antény. Pomocou CST Microwave Studio bola navrhnutá a odsimulovaná. Táto anténa bola vyrobená a zmeraná. Výsledky simulácie a merania boli porovnané a vyhodnotené.

Kľúčové slová: Štrbinová anténa, CST Microwave Studio, CST Studio Suite

Abstract

This work is oriented on the basic principle functions of slot antennas. Using CST Microwave Studio was designed and simulated antenna. The antenna was made and measured. Simulation results and measurements were compared and evaluated.

Keywords: Slot antenna, CST Microwave Studio, CST Studio Suite

Zoznam použitých skratiek a symbolov

a, b	– veľké a malé rozmery vlnovodu
A	– šírka antény
B	– dĺžka antény
B	– výkon odrazenej vlny
CWSA	– Constant Width Slotline Antenna
ČSV	– činiteľ stojatých vĺn
F	– výkon prenesenej vlny
G_{slot}	– vodivosť slotu
$G_{waveguide}$	– vodivosť vlnovodu
LTSA	– Linear Taper Slotline Antenna
N	– počet slotov
PSV	– pomer stojatých vĺn
S_{11}	– činiteľ odrazu
SWR	– pomer stojatých vĺn
TSA	– tapered Slot Antenna
UHF	– ultra krátké vlny
VA	– Vivaldiho anténa
VTSA	– Vivaldi Taper Slotline Antenna
w	– šírka štrbiny
x	– posunutie slotu od osy
X	– reaktancia
Z_1	– impedancia antény
Z_a	– impedancia napájania
ρ	– činiteľ odrazu
λ	– vlnová dĺžka
λ_0	– vlnová dĺžka vo voľnom prostredí
λ_c	– medzná vlnová dĺžka

Obsah

1	Úvod	1
2	Štrbinová anténa	2
2.1	Štrbina	2
2.2	Rozmiestnenie štrbín	4
2.3	Vrubová anténa	5
2.4	Vivaldiho anténa	6
2.5	Výhody a nevýhody štrbinových antén	9
2.6	Vstupné podmienky	10
3	Popis návrhu a konštrukcia štrbinovej antény	14
3.1	Teoretický výpočet podľa vzorcov	14
3.2	Popis simulácie	16
3.3	Konštrukcia štrbinovej antény	22
3.4	Meranie štrbinovej antény	24
4	Záver	26
5	Literatúra	27
6	Prílohy	28

1 Úvod

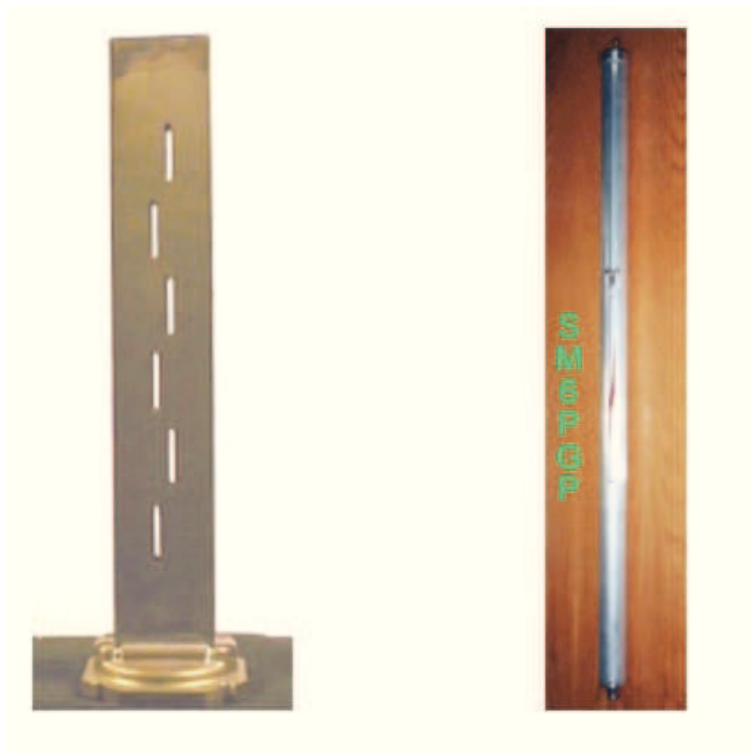
História objavu elektromagnetických vĺn je zaujímavá nielen z hľadiska fyzikálneho, ale aj z hľadiska filozofického. Je názornou ukážkou toho, ako postupuje proces poznania od praxe k teórii a od vytvorenej teórie a na jej základe k ďalšiemu dôkladnejšiemu preskúmaniu skutočnosti.

Prvý názor k objavu elektromagnetických vĺn dal Faraday, ktorý v súvislosti so svojimi pokusmi z oblasti elektriny zapochyboval o tom, že sa elektrické pole šíri do priestoru okamžite. Vyslovil názor, že také šírenie má konečnú rýchlosť. Na túto jeho myšlienku nadviazal Maxwell a na nej vybudoval svoju teóriu elektromagnetického poľa. Maxwell nielenže teoreticky predvídala existenciu elektromagnetických vĺn, ale vypočítal aj ich rýchlosť a po určení jej hodnoty pre vákuum vyslovil aj tzv. elektromagnetickú teóriu svetla. Podľa tejto teórie svetlo nie je ničím iným, ako elektromagnetickým vlnením. Trvalo to skoro dve desaťročia, kým sa Maxwellovu teoretickú predpoveď podarilo potvrdiť aj experimentom. Zásluhu na tom má Hertz, ktorý roku 1888 vykonal dôležité pokusy, dokazujúce existenciu elektromagnetických vĺn. Hertz dokázal merať už aj vlnovú dĺžku elektromagnetických vĺn (ktoré vysielal svojim zariadením) a preskúmal aj také ich vlastnosti, ako je odraz, lom, ohyb, interferencia a iné.[1]

V druhej kapitole sa venujem základným princípom štrbinovej antény. Popisujem v akých kmitočtoch pracuje, z čoho sa skladá. Ďalej v tejto kapitole popisujem čo to je štrbina a ako môže byť napájaná, výhody a nevýhody štrbinovej antény. Vo veľkej miere sa v tejto kapitole venujem wifi pásmu, pretože je v tomto pásme zostrojená štrbinová anténa. V tretej kapitole sa venujem popisom vstupných podmienok a návrhu antény podľa výpočtov. Ďalej sa venujem popisu simulácie a práce v CST Microwave Studio. Nasimulovanú anténu zostrojím a zmeriam. Výsledkom mojej bakalárskej práce je teda nasimulovať a zostrojiť štrbinovú anténu a porovnať výsledky simulácie s výsledkami merania.

2 Štrbinová anténa

Štrbinové antény sa používajú typicky na frekvenciách medzi 300 MHz - 24 GHz. Je to jednoduchý typ antény, ktorá sa skladá z dosky z kovu a jedného alebo viac štrbín cez stred. Vo väčšine prípadoch kov je obdĺžnikového tvaru a štrbiny alebo sloty pre rez do kovu bežia paralelne s dlhšej strany obdĺžnika. Anténa s väčším počtom štrbín dosahuje väčšie hodnoty zisku ako je na obr. 2.1 vľavo, používa sa pri frekvencii od 2 do 24 GHz. Zatiaľ čo plochý valec antény na obr. 2.1 vpravo sa používa pri UHF (ultra krátke vlny) a nižšej mikrovlnnej frekvencii.[2]

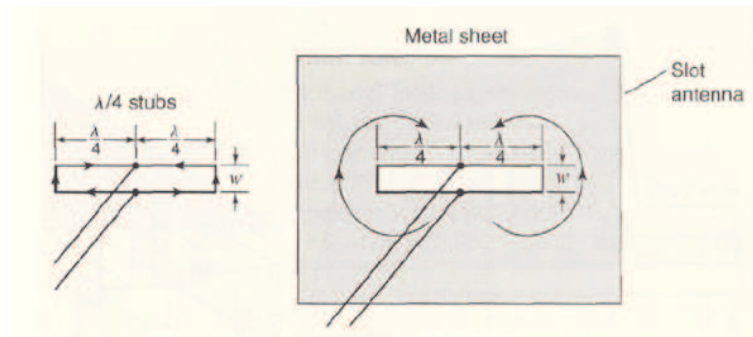


Obr. 2.1: Druhy štrbinových antén.[2]

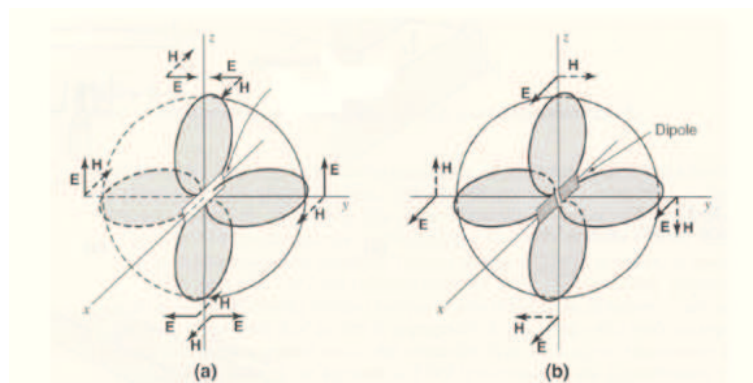
2.1 Štrbina

Štrbina môže byť napájaná vedením dvojdrôtovým, koaxiálnym, dutinou umiestnenou na jednej strane štrbiny alebo vlnovodom. Najjednoduchším prípadom je pravouhlá štrbina o dĺžke pol vlny v rovnej vodivej doske obr. 2.2 a napájaná dvojdrôtovým vedením. Na vyžarovanie štrbiny sa podieľajú prevažne prúdy tečúce v najbližšom okolí štrbiny na vodivej ploche. Šírka štrbiny $w \ll \lambda$. Diagram žiarenia štrbinovej antény obr. 2.3a sa podobá diagramu pol vlnného dipólu obr. 2.3b, ktorý je umiestnený na mieste štrbiny

(vo voľným priestore) avšak so zamenenými vektormi elektromagnetického poľa E a H (princíp Babinet-Bookeruv komplementárni dipól).[5]

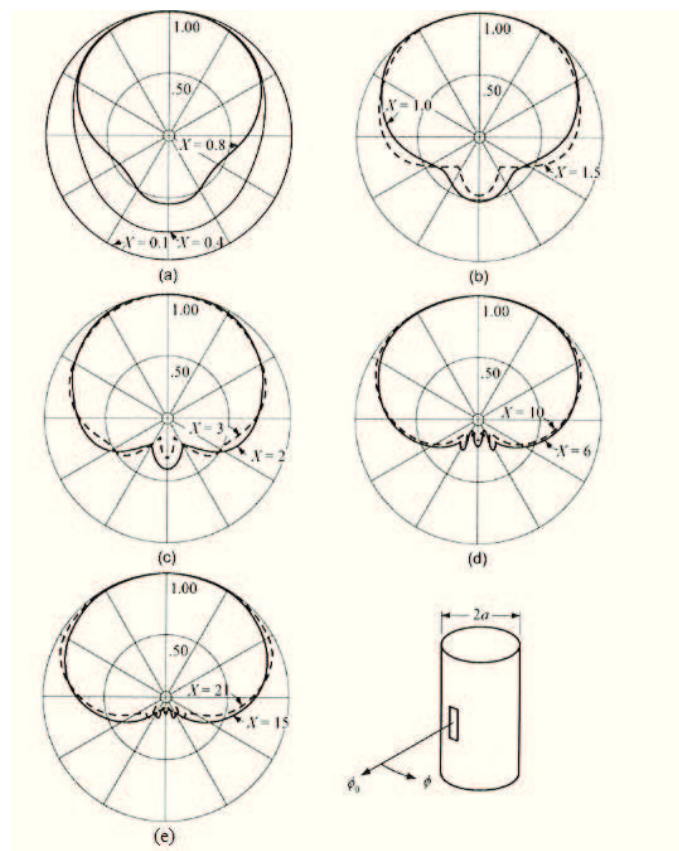


Obr. 2.2: Štrbiny.[5]



Obr. 2.3: Orientácia rovín E a H : a)štrbinová anténa, b)dipól.[6]

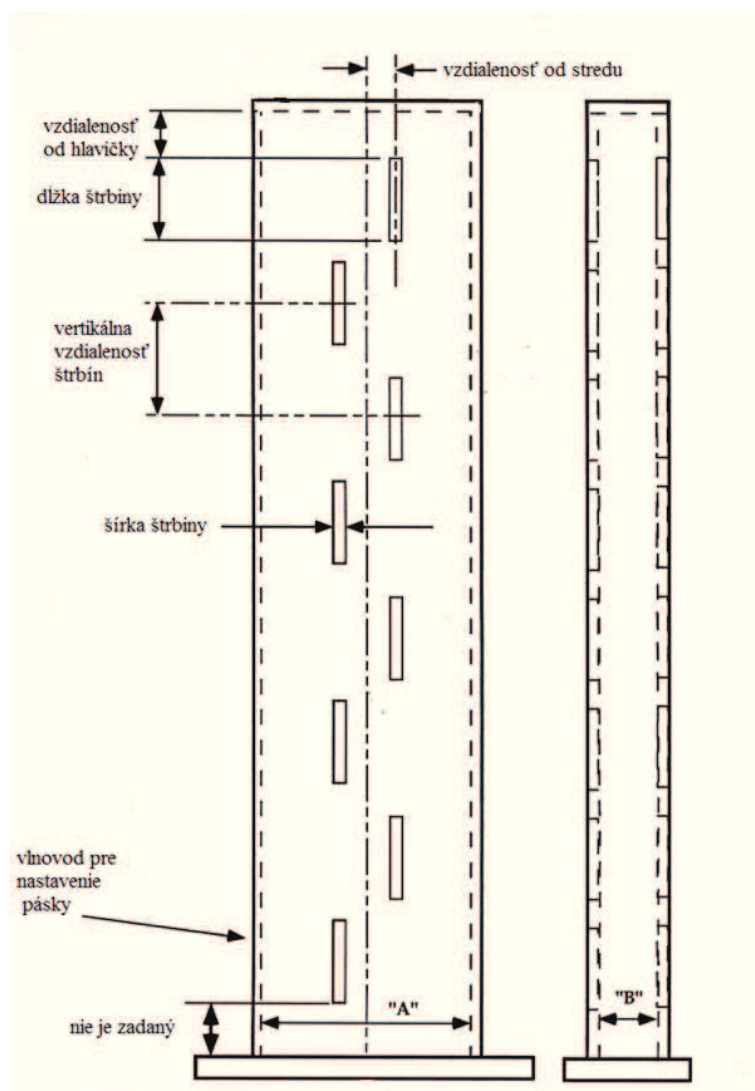
Vstupný odpor má uprostred štrbiny teoretickou hodnotu 485Ω a rastie so šírkou štrbiny. Jeho veľkosť klesá smerom ku koncu štrbiny, čo umožňuje napájať štrbinovú anténu koaxiálnym vedením s nižším, vhodnejším vlnovým odporom. Štrbinová anténa vyžaruje na obe strany vodivej roviny. Jednostranné uzavretie štrbiny dutinou zaistí vyžarovanie len do pol priestoru na opačnej strane vodivej roviny. Tvar diagramu žiarenia je čiastočne ovplyvnený priečnym rozmerom vodivej roviny. Jednostranné uzavretie štrbiny dutinou zvyšuje vstupný odpor antény dvakrát. V praxi sa štrbiny umiestňujú nielen na rovné plochy, ale napr. na povrch valcovej plochy. Na obr. 2.4 sú vyznačené diagramy žiarenia pol vlnnej štrbiny v rovine azimutu pre rôzne hodnoty parametru $X=2\Pi a/\lambda$. [6]



Obr. 2.4: Vyžarovacie diagramy.[6]

2.2 Rozmiestnenie štrbín

Konštrukcia štrbinovej antény, ktorá má viac štrbín vyžaduje presný výpočet medzier medzi štrbinami a okrajom antény. Rozloženie a veľkosť týchto štrbín určuje frekvencia. Na výpočet vlnovodných rozmerov mikrovlnných pásiem sa dá použiť MathCad Software, ktorý vám uľahčí prácu. Najčastejšie použitie štrbinovej antény je vo vežiach v radaru a v mobilných telefónoch. Pretože najlepšie pracujú s krátkymi vlnovými dĺžkami v rozsahu UHF.

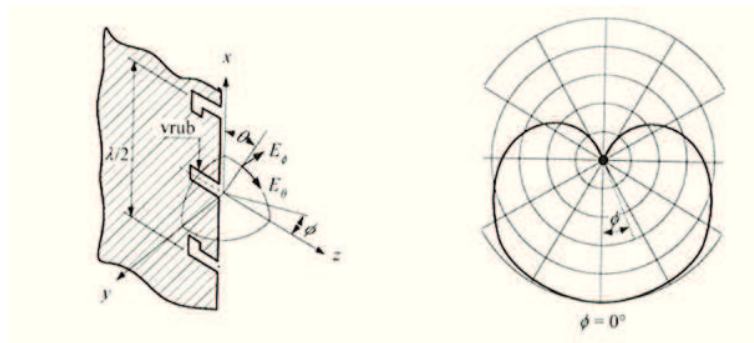


Obr. 2.5: Rozloženie štrbín.

2.3 Vrubová anténa

Určitým typom štrbinovej antény je vrubová anténa (anglicky notch antenna) obr. 2.6. Je to širokopásmový žiarič vhodný napr. k vybudeniu nábežných hrán súčasťou lietadlového trupu, krídla alebo vertikálnej časti kormidla. Diagram žiarenia vrubovej antény v rovine YZ je kardioda, v rovine XZ je podobný dipólu umiestnenému v hrane roviny. Štvrť vlnné tlmivky vo vzdialenosti približne štvrť vlny od vrubu, slúžia k obmedzeniu interferenčných miním v diagramu žiarenia. Vstupná impedancia vrubovej antény závisí, podobne ako u pravouhlej štrbiny, na polohe napájacieho bodu pozdĺž vrubu.

Mimo štrbinovej antény pravouhlej, priamej sa vyskytujú štrbiny aj zalomene, skladané alebo kruhové.[7]



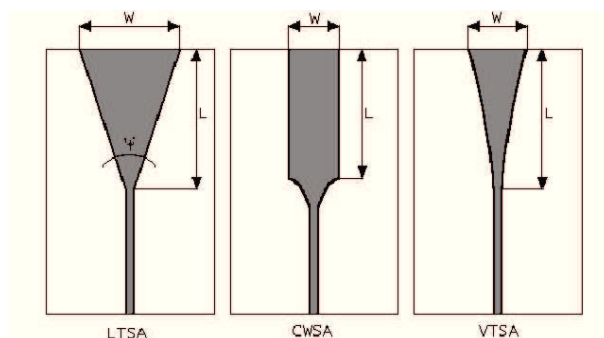
Obr. 2.6: Diagram žiarenia vrubovej antény.[7]

2.4 Vivaldiho anténa

VA (Vivaldiho anténa) v zahraničnej literatúre označovaná ako TSA (Tapered Slot Antenna), bola uverejnená v roku 1979 P.J. Gibsonom v zborníku Európskej mikrovlnnej konferencií. Anténa VA patrí k základnej triede antén s podielným (endfire) vyžarovaním, nesúcim postupné vlnenie (travelling wave). Antény s postupnou vlnou môžeme rozdeliť do dvoch hlavných tried:

1. Antény s vytekajúcou vlnou (leaky wave) sú charakteristické tým, že fázová rýchlosť vlny je väčšia ako rýchlosť svetla. Z toho plynie, že anténa žiari mimo geometrickú os štruktúry.
2. Antény s podielným vyžarovaním (endfire) sú také štruktúry, u nich fázová rýchlosť vlny je menšia alebo rovná rýchlosti svetla. Takáto anténa žiari pozdĺž svojej geometrickej osy. Do tejto skupiny patrí i VA. Vivaldiho anténa svojim ziskom patrí medzi antény so stredne vysokým ziskom s typickými hodnotami 10 až 14 dB.

Okrem základného exponenciálneho tvaru sa postupom času objavili ďalšie variácie VA s rôznymi tvarmi štrbiny. Podľa tvaru štrbín, jej základný prehľad je na obr. 2.7, sú odvodené i názvy týchto variácií.[8][9]



Obr. 2.7: Základné geometrie Vivaldiho antén.[9]

2.4.1 LTSA (Linear Taper Slotline Antenna)

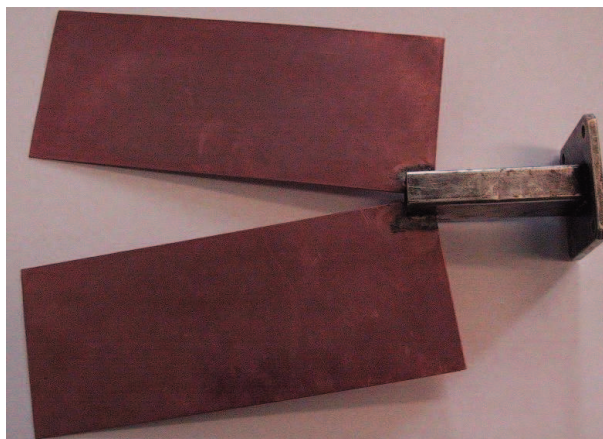
Na prvý pohľad sa tvar štrbiny LTSA javí ako konštrukčne najjednoduchší v kategórii Vivaldiho antén. Ide o lineárne sa rozširujúcu štrbinu, u nej v podstate môžeme meniť len maximálnu šírku W ústí antény (tj. dolný hraničný kmitočet) a uhol φ , pod ktorým sa štrbina rozširuje. Týmto rozmery je určená i dĺžka L žiariaca časti antény. Tento typ VA sa vyznačuje vysokou smerovosťou (ziskom), hodnotou trojdecibelovej šírky laloku okolo 15 až 20 stupňov a väčšou frekvenčnou závislosťou parametrov.

2.4.2 VTSA (Vivaldi Taper Slotline Antenna)

Dlhá anténa typu VTSA je v podstate frekvenčne nezávislá a má účinnejšie vyžarovanie. Tato širokopásmová anténa však nedosahuje tak úzkeho diagramu, akého je schopná dosiahnuť LTSA.[10]

2.4.3 CWSA (Constant Width Slotline Antenna)

Chovanie antény CWSA je o niečo zložitejšie než u predošlých typov TSA. Všeobecne je však využívané 20 mm dlhého exponenciálneho prechodu na vstupnú časť antény k napájaniu štrbiny s konštantnou šírkou. Pri kratšej anténe môže byť dĺžka tohto prechodu menšia.[10]



Obr. 2.8: Konštrukcia Vivaldiho antény.[9]

2.4.4 Typy napájania Vivaldiho antény

Jednoduchosť konštrukcie VA je jej prednou výhodou. Na druhu stranu sa však komplikuje prispôsobenie vstupnej časti antény k napájaciemu vedeniu koncového zariadenia. Existuje niekoľko možných typov napájacích obvodov, ktoré sa vzájomne líšia svojou zložitosťou a rozsahom použiteľnosti. V nasledujúcej časti sú uvedené tri najčastejšie používané spôsoby napájania.

1. Detekčná dióda - ide o najjednoduchší príklad napájania. Napájanie je realizované pomocou vysokofrekvenčnej diódy, pripojenej napriek najužšej časti štrbiny vo forme rovnako smerného detektoru. Vstupná impedancia antény je porovnateľná s impedanciou diódy. Anténa s týmto rozhraním môže pracovať iba v prijímacím režime, šírka pásma je obmedzená typom použitej diódy. Toto napájanie sa hodí len pre približné meranie a experimentálne zisťovanie parametrov VA.[8]
2. Vlnovodný úsek - skladá sa z obdĺžnikového vlnovodu, do ktorého je zasunutý uží koniec VA. Vnútri vlnovodu je opäť VA exponenciálne rozšírená do tzv. plutvovitého (fin-line) prechodu. Toto napájanie je vhodné predovšetkým pre zariadenia, ktoré majú priamo vlnovodový výstup - odpadávajú preto problémy s ďalším prispôbovaním. Nevýhodou je obmedzenie šírky pásma vďaka vlastnostiam vlnovodu (dolný hraničný kmitočet je daný kritickým kmitočtom v krití dominantného vidu TE₁₀, horný hraničný kmitočet končí na hranici jednovírovosti vlnovodu).[8]
3. Mikropáskové vedenie - predchádzajúce od stavce popisovali napájacie obvody VA, ktoré boli vytvorené len na jednej strane nosného dielektrického substrátu. V prípade mikropáskového napájania sú využité obe strany substrátu. Na koľko vstup antény je súmerný, napájanie mikropáskovým vedením si žiada širokopásmový symetrizačný obvod prispôbujúci nesúmerný mikropások. Odstránenie tohto členu

dosiahneme zhotovením obojstrannej VA, a to len jednej polovice na každej strane, takže sa obe časti vstupnej časti prekrývajú. Vstupná časť antény tak tvorí súmernú dvojlinku, ktorá plynule prechádza v klasické mikropáskové vedenie, kde môže byť bez odrazovo pripojená napr. na vstupný konektor SSMA.[9] Nevýhodou popísaného spôsobu napájania je zložitý konštrukčný návrh, vyžadujúci dobrú znalosť mikropáskových vedení, a značná kmitočtová selektivita takto navrhnutého symetrizačného obvodu, ktorý vedie ku zníženiu použiteľnej šírky pásma VA.

2.5 Výhody a nevýhody štrbinových antén

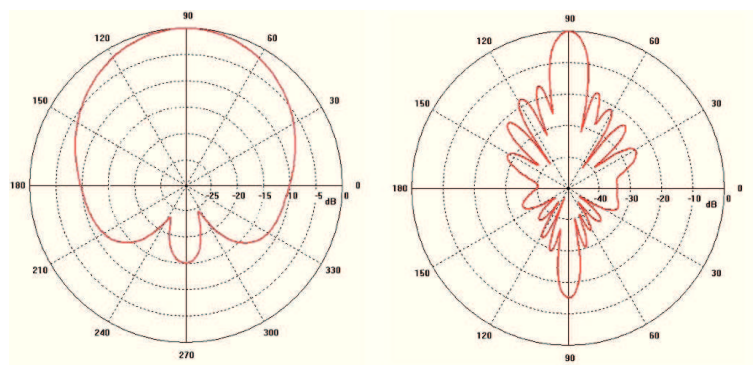
Výhody štrbinovej antény:

- veľký zisk,
- pokrytie veľkého uhlu v horizontálnej rovine,
- horizontálna polarizácia (ne vždy je výhodou),
- jednoduchá konštrukcia, opakovateľné výsledky nízka cena,

Nevýhody štrbinovej antény:

- nevyrovnaný horizontálny vyžarovací diagram
- úzky vertikálny vyžarovací diagram (skôr vlastnosť ako nevýhoda - veľkého zisku pri širokých horizontálnym vyžarovaním nejde dosiahnuť inak ako "stlačením" vertikálneho vyžarovania do úzkeho lúča)

Typický vyžarovací diagram štrbinových antén:



Obr. 2.9: Vyžarovací diagram v horizontálnej a vertikálnej rovine.[11]

Vyžarovací diagram je v podstate grafické vyjadrenie smerových vlastností antény. Smerové vlastnosti vyjadrujeme vo forme absolútnej hodnoty podielu elektrickej intenzity vyžarovaného vlnenia v danom smere a najvyššej hodnoty intenzity vyžarovaného vlnenia. Zisk antény udáva koľkokrát väčší výkon musíme dodať do polvlnného dipólu, aby v mieste príjmu bola rovnaká energia ako u smerovej antény. Zisky takýchto antén preto býva rôzny podľa potrieb.[6]

2.6 Vstupné podmienky

WLAN(Wireless LAN)je to bezdrátová technológia, ktorá využíva štandard IEEE 802.11. Vznikol v roku 1992, kde bolo naraz americkým FCC a európskym ETSI uvoľnené bezlicenčné rádiové pásmo ISM 2,4GHz(Industrial, Scientific, Medical). Referenčný model 802.11 využíva len 2 vrstvy OSI/ISO modelu.[12]

- L1 -fyzická vrstva
 - IR -Infra-Red
 - DSSS-Direct Sequence Spread Spectrum
 - FHSS-Frequency Hopping Spread Spectrum
 - OFDM-Orthogonal Frequency Division Multiplexing
- L2 -linková vrstva)
 - Logical Link Control(LLC)
 - Media Access Control(MAC)

Fyzická vrstva 802.11 definuje typ použitej modulácie a techniku spektra.

- DSSS každý bit je nahradený sekvenciou bitov a to tak, že sa pridajú redundantné bity. Signál je teda rozprestretý do väčšej časti spektra, čiže zväčšuje sa spoľahlivosť prenosu.
- FHSS je to metoda frekvenčných preskokov. Celé pásmo je rozdelené do 79 kanálov so šírkou kanálu 1 MHz. Na každom kanále sa vysiela 400ms a frekvencie sú menené podľa podľa pseudonáhodnej postupnosti, ktorá je známa ako na vysielačnej strane tak aj na prijímacej strane. Výhodou je odolnosť voči rušeniu. No naopak dosahuje menšiu rýchlosť ako u DSSS.
- OFDM je to v podstate prevod vstupného vysokorýchlostného sériového datového toku na radu pomalejších paralelných datových tokov. Dátové toky sú modulované moduláciami QPSK alebo m-QAM. Celková prenosová rýchlosť je daná súčtom rýchlostí v kanáloch.[12]

Linková vrstva definuje štruktúru MAC rámca, prístupovú metódu k prenosovému médiu, multiplexáciu protokolov vysielaných na MAC vrstve, zabezpečenie (CRC) a šifrovanie spojenia(WEP, WPA). Existujú tri druhy rámcov.

- management -prenos správ napr. Association Request, Beacon, Association Response,
- riadiace -súvisia s prístupovou metódou. Spravy RTS, CTS, ACK
- dátové -kde MAC rámec sa skladá z MAC hlavičky, zabezpečenia(CRC) a prenosených dát[12]

Prístupové mechanizmy v 802.11 sú:

- DCF(Distributed COOrdination Function)založený na mechanizme CSMA/CA. Stanica dáva pozor na stav prenosového média, ak je po uplynutí definovaného úseku médium voľné, pošle stanica paket, v opačnom prípade odloží prenos a naďalej monitoruje médium.
- RTS/CTS (Request to send/Clear to send)stanica zahajuje vysielanie požiadavkám a pokiaľ je médium voľné, dostáva stanica potvrdenie, že môže po stanovenú dobu vysielat'.
- PCF(Port Coordination Function)prenosové médium pridel'uje prístupový bod na základe definovaného typu obsluhy.[12]

Standardy 802.11 sú:

1. 802.11 dosahuje rýchlosť až 2Mb/s, pracuje v ISM pásme 2,4GHz.
2. 802.11b vyvinuté v roku 1999, pracuje v ISM pásme 2,4GHz. Prenosová rýchlosť až 11Mb/s, na fyzickej vrstve je použité DSSS. Podľa momentálneho rušenia prostredím sa dynamicky mení rýchlosť 11Mb/s, 5,5Mb/s, 2Mb/s, 1Mb/s. V tomto ISM pásme je celkom 14 kanálov. V Českej republike je schválených iba 13. Odstup jednotlivých kanálov je 5MHz a šírka jedného kanálu je 22MHz. Frekvenčné pásmo poskytuje len tri kanály, ktoré sa vzájomne nekryjú.
3. 802.11g schválené v roku 2003. Prenosová rýchlosť až 54Mb/s. Na fyzickej vrstve používa OFDM alebo DSSS pre spätnú kompatibilitu s IEEE 802.11b.
4. 802.11a prenosová rýchlosť až 54Mb/s. Pracuje v pásme 5170 - 5825MHz.
5. 802.11n pracuje v pásme 2,4 - 5GHz. Zavedenie techniky MIMO (Multiple Input Multiple Output)obsahuje viac vysielacích aj prijímacích antén, ktoré majú na oboch stranách dostatočnú vzájomnú vzdialenosť. Počet vysielacích a počet prijímacích antén musí byť najmenej rovnaký, alebo musí byť väčší, ako počet dátových tokov.[12]

Bezdrôtové (rádiokomunikačné) kanály sú charakterizované šírením rádiových vĺn. Rádiové vlny sú definované ako elektromagnetické vlnenie vo frekvenčnom pásme od 10 kHz až do 3 000 GHz. Zodpovedá to vlnovým dĺžkam od 30 km do 0,1 mm. Vzájomný vzťah medzi vlnovou dĺžkou λ a frekvenciou elektromagnetického vlnenia je daný vzťahom:[13]

$$\lambda = c/f \quad (2.1)$$

kde sú:

λ - vlnová dĺžka [m]

c - rýchlosť šírenia elektromagnetických vĺn vo voľnom prostredí (3×10^8 m/s)

f - kmitočet [Hz] ([1/s])

Základné rozdelenie rádiových vĺn podľa ich frekvencie, vlnovej dĺžky a použitia určuje Rádiokomunikačný poriadok. Rádiokomunikačný poriadok je systém medzinárodných dohôd, ktorý sa periodicky dopĺňa a inovuje na medzinárodných konferenciách.

Medzi ďalší vstupný parameter patrí ČSV (činiteľ stojatých vĺn), nazývaný tiež PSV (poměr stojatých vĺn) alebo SWR (Standing Wave Ratio) je v konečnom dôsledku jedným z ukazovateľov celého vysielačieho zariadenia. V podstate ide o to, že výstup vysielača, vŕ (vysokofrekvenčné) vedenie a anténa musia byť k sebe impedančne prispôsobené, ich impedancia v danom kmitočte musí byť rovnaká. V tom prípade je $SWR=1$. Pokiaľ je impedancia vedenia a impedancia antény rozdielna, SWR je rovné pomeru oboch impedancií, pričom väčšia impedancia je vždy v čitateli a menšia v menovateli zlomku, tak aby SWR bolo väčšie alebo rovné 1.[14]

Vzťah pre výpočet PSV:

$$PSV = \frac{1 + \sqrt{\frac{B}{F}}}{1 - \sqrt{\frac{B}{F}}} = \frac{Z_1}{Z_a} \text{ alebo } \frac{Z_a}{Z_1} \quad (2.2)$$

Taktiež sa dá vypočítať podľa pomeru stojatých vln:

$$PSV = \frac{1 + |\rho|}{1 - |\rho|} \quad (2.3)$$

kde sú:

ρ - činiteľ odrazu

F - výkon prenesenej vlny

B - výkon odrazenej vlny

Z_1 - impedancia antény [Ω]

Z_a - impedancia napájania [Ω]

3 Popis návrhu a konštrukcia štrbinovej antény

Pre štrbinovú anténu bol zvolený kmitočet 2,442 GHz. Je to 7 kanál z 13 pracovných kanálov v Európe. Táto štrbinová anténa sa môže pýšiť veľkým ziskom, pokrytím veľkého uhlu v horizontálnej rovine, celkom jednoduchou konštrukciou a hlavne nízkej výrobnéj cene.

Parametre štrbinovej antény:

- $f = 2,442 \text{ GHz}$
- ISM pásmo
- $Z_a = 50\Omega$
- frekvenčné pásmo
- PSV

3.1 Teoretický výpočet podľa vzorcov

Ako prvé si musíme vypočítať vlnovú dĺžku, pretože elektrická vlnová dĺžka vo vlnovode je dlhšia ako vo voľnom priestore.

$$\lambda = 1 / \sqrt{\left(\frac{1}{\lambda_0}\right)^2 - \left(\frac{1}{\lambda_c}\right)^2} [m] \quad (3.1)$$

kde sú:

λ - vlnová dĺžka [m]

λ_c - medzná vlnová dĺžka [m]

λ_0 - vlnová dĺžka vo voľnom prostredí [m]

Ďalší vzorec pre výpočet zisku a uhla vyžarovania. Aj keď nameraný zisk je len zriedka rovnaký ako vypočítaný, pretože vlastný zisk zvyčajne vykazuje nejakú zmenu okolo azimutu. Čiže vypočítaná hodnota zisku je len približná hodnota. Dobrý výkon môžeme očakávať šírkou pásma, menšou ako 10% pre malý počet slotov.[2]

$$Gain = 10 \log \left(\frac{N * slotspacing}{\lambda_0} \right) [dB] \quad (3.2)$$

$$Beamwidth = 50,7 * \frac{\lambda_0}{(N/2) * slotspacing} [degrees] \quad (3.3)$$

kde sú:

N - počet slotov

slotspacing - polovica vlnovej dĺžky

λ_0 - vlnová dĺžka vo voľnom prostredí

Beamwidth - vyžarovací uhol [degrees]

Gain - zisk [dB]

Vzorec, ktorý odvodil Stevensen v roku 1948 pre výpočet slot rozmerov, vychádzal z toho, že dĺžka slotu je presne polovica vlnovej dĺžky. Toto tvrdenie však nebolo pravdivé. Až postupom času zistili, že slot má rezonančnú dĺžku $0,464\lambda_0$. Ktorá je použitá v nasledujúcom vzorci.[2]

$$\frac{G_{slot}}{G_{waveguide}} = \left[2,09 \frac{\lambda_g}{\lambda_0} * \frac{a}{b} * \left(\cos \left(\frac{0,464\pi\lambda_0}{\lambda} \right) \right) - \cos(0,464\pi) \right] \sin^2 \frac{\pi x}{a} \quad (3.4)$$

kde sú:

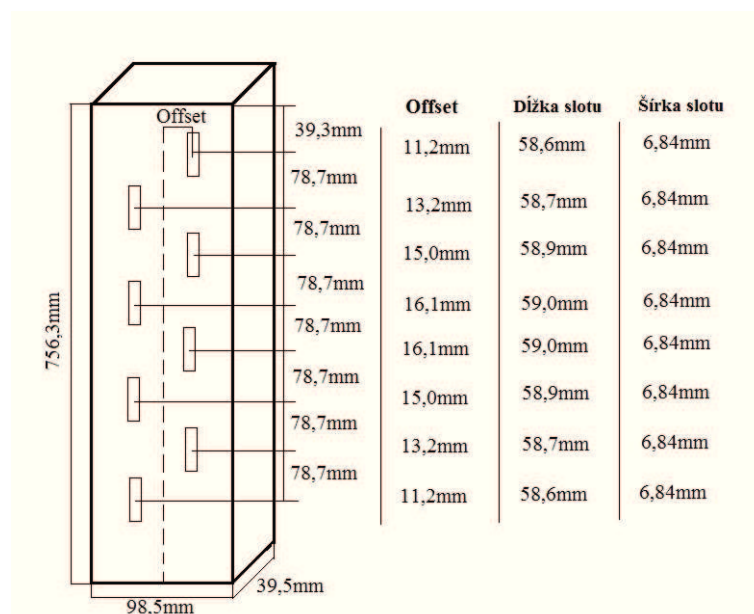
a,b - veľké a malé rozmery vlnovodu [m]

x - posunutie slotu od osy [m]

G_{slot} - vodivosť slotu

$G_{waveguide}$ - vodivosť vlnovodu

Vypočítané rozmery štrbinovej antény plná veľkosť v prílohach obr. 6.3:



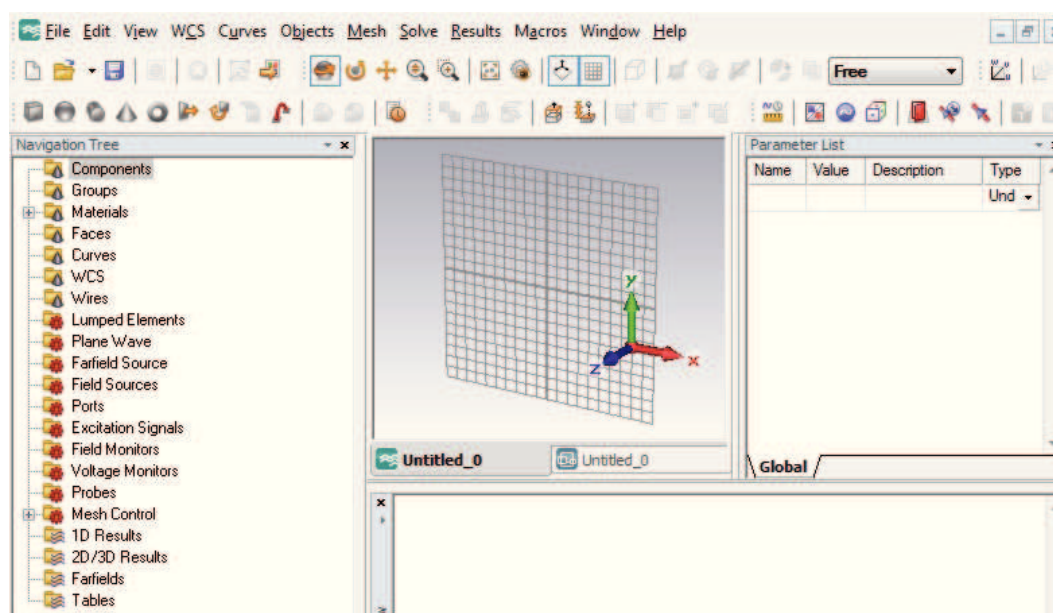
Obr. 3.1: Rozmery štrbinovej antény

3.2 Popis simulácie

3.2.1 CST Microwave Studio

CST Studio Suite je elektromagnetický simulačný program, ktorý je vyvrcholením veľa rokov výskumu a riešenia výpočtov elektromagnetických vzorcov. Skladá sa z CST nástrojov pre návrh a optimalizáciu zariadení pracujúcich v širokom rozsahu frekvencií. Program ponúka značné výhody na trhu, skrátenie vývojových cyklov a optimalizáciu pred experimentovaním. CST Studio Suite sa skladá z nasledujúcich modulov:

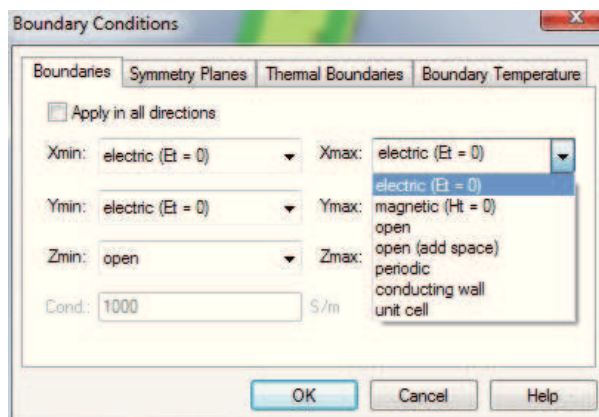
- CST Microwave studio je nástroj pre rýchle a presné 3D simulácie vysokofrekvenčných zariadení a je jednotkou na trhu so simuláciou časovej oblasti. Umožňuje rýchlu a presnú analýzu antén a filtrov.
- CST EM Studio je ľahko použiteľný nástroj pre návrh a analýzu statických a nízko-frekvenčných EM aplikácií, ako sú motory, senzory a transformátory.
- CST Particle Studio bola vyvinutá pre plne konzistentné simulácie voľne pohybujúcich nabitých častíc.
- CST Cable Studio pre simuláciu signálu integrity a analýzu káblov.
- CST PCB Studio pre simuláciu signálov integrity na doskách plošných spojov.
- CST MPHYSICS Studio pre tepelnú a mechanickú analýzu.
- CST Design Studio je univerzálny nástroj, ktorý umožňuje 3D okruh simulácie.
- Antenna Magus softvérový nástroj, ktorý pomáha urýchliť navrhovanie antén a modelovanie procesu. Obsahuje obrovskú databázu, ktoré antény je možné exportovať do CST Studiu pre ďalšiu analýzu a optimalizáciu.[3]



Obr. 3.2: Hlavné okno CST Studio Suite.

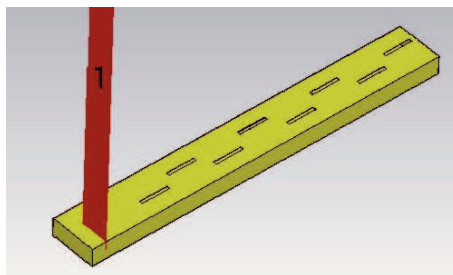
3.2.2 Simulácia v CST Studio Suite

Po správnom vybratí projektu sa nám spustí hlavné okno programu. Ako prvé zadáme potrebné parametre do okna Parameter List, s ktorými budeme neskôr pracovať. Pomocou tlačidla Create brick vytvoríme štrbinovú anténu a zvolíme materiál z akého má byť anténa vytvorená v mojom prípade som zvolil hliník. Jediný problém takto vytvorenej antény je, že konštrukcia je celá plnená hliníkom. Preto klikneme na položku shell. Po otvorení nového okna sa nás program spýta, čo chceme vyrezať a v akej hrúbke má ostať materiál. Teraz už máme vytvorenú dutú konštrukciu z hliníku. Hrúbku materiálu som volil 0,86mm, pretože z takej hrúbky bude aj vyrobená anténa. Po správne zadaných hodnotách si už len vytvoríme jednotlivé štrbiny. Keď je anténa hotová tak poslednou vecou je napájanie. V záložke Objects → Pick vyberieme Pick Face a zvolíme kde chceme mať napájanie. Potom zvolíme tlačidlo Waveguide ports, klikneme na to isté miesto a zvolíme súradnice napájania. Nakoniec nastavíme potrebné vstupné parametre akou je napríklad frekvencia. Aby sme dosiahli správne vyžarovacie charakteristiky je potrebné nastaviť správne vyžarovanie antény. Nastavíme to v Specify boundary condition, kde máme na výber z jednotlivých možností.



Obr. 3.3: Nastavenie vyžarovania antény.

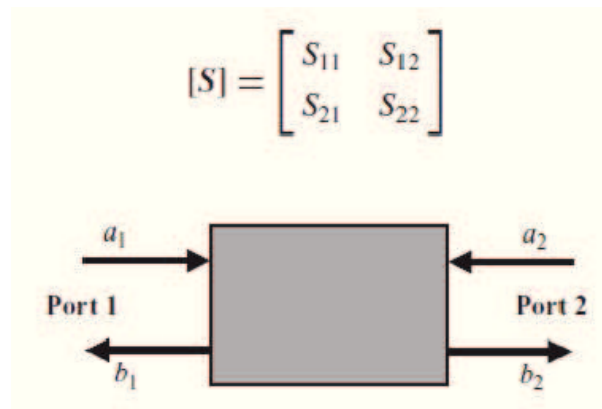
Po kompilácii programu, všetky výsledky nájdeme v dolnom okne navigačného stromu. Ako je napríklad Farfields, 1D Results, 2D/3D Results. Na obr. 3.4 môžete vidieť nasimulovanú štrbinovú anténu.



Obr. 3.4: Nasimulovaná štrbinová anténa.

3.2.3 Parametre S11 a S21

Anglicky Scattering Parameters, tieto parametre sú užitočné pre elektrotechniku, komunikačné siete a najviac pre mikrovlnné techniky. Pomocou S parametrov môžeme vyjadriť zisk, návrat straty, pomer stojatých vln, odraz a zosilňovač stability. Na nasledujúcom obrázku 3.5 môžeme vidieť dva porty kde a₁ a a₂ sú vstupné a b₁ a b₂ sú výstupné.[4]



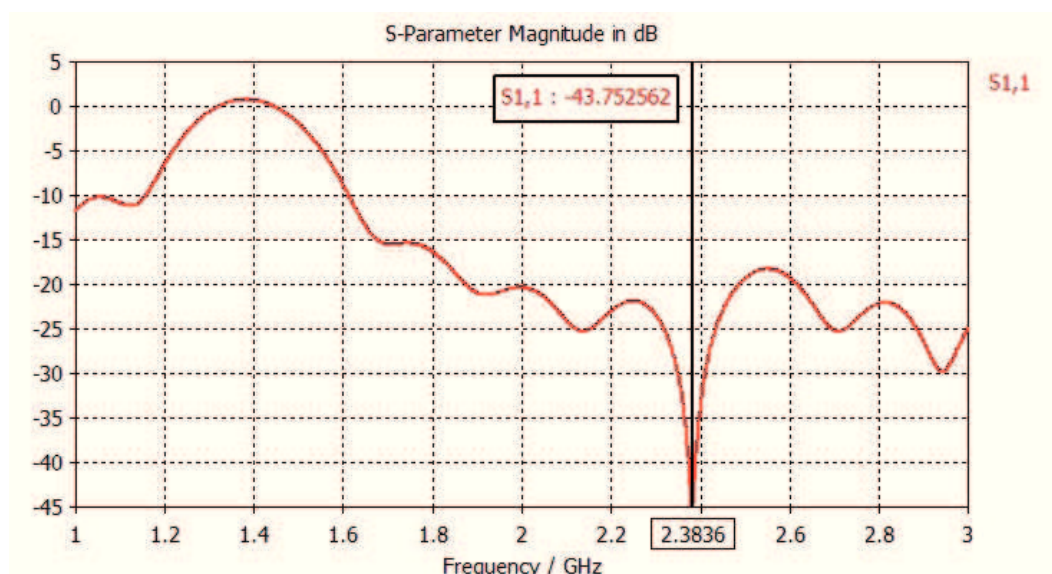
Obr. 3.5: S parametre.[4]

S_{11} =odraz na portu 1 $=b_1/a_1$,
 S_{12} =port 2 do portu 1 koeficient prenosu/zisk $=b_1/a_2$,
 S_{21} =port 1 do portu 2 koeficient prenosu/zisk $=b_2/a_1$,
 S_{22} =odraz na portu 2 $=b_2/a_2$

Tieto parametre boli pôvodne zavedené v optike, kde optické vlny boli rozptýlené objektami. Pojmy boli neskôr rozšírené v rádiovlnách a v radiofrekvenčnom inžinierstve, ale termín S parameter zostal nezmenený.[4]

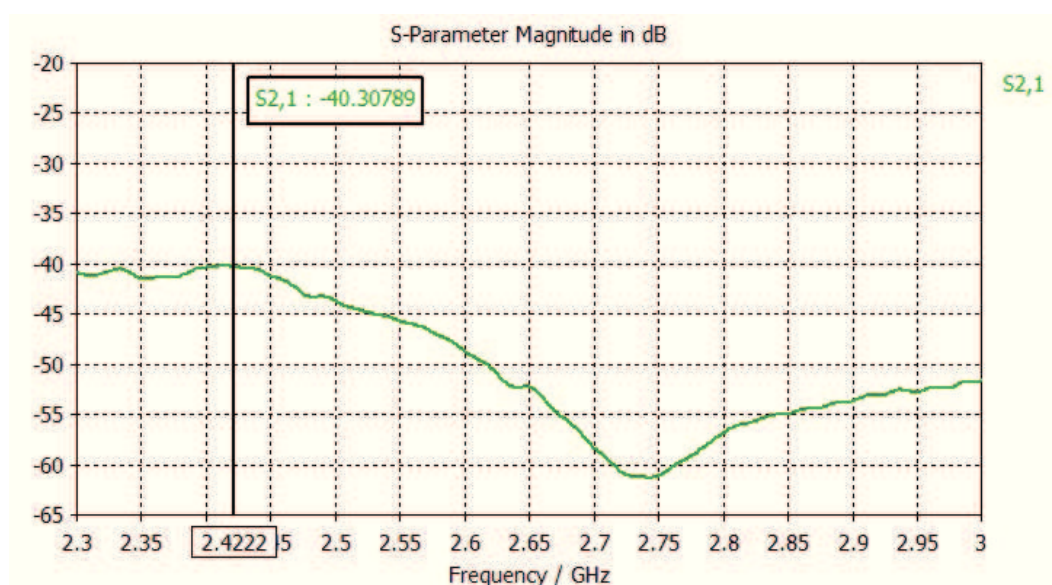
3.2.4 Výsledky simulácie

Samotné výsledky štrbinovej antény, ktorá je napájaná tenkým koaxiálnym káblom RG174. Činiteľ odrazu ρ (parameter S_{11}) má hodnotu 0,0064993 (-43,752562 dB) pre $f=2,3836$ GHz. Činiteľ odrazu som si vypočítal podľa vzťahu [2.3], čiže pomer stojatých vln mi vyšiel $PSV=1,013$.



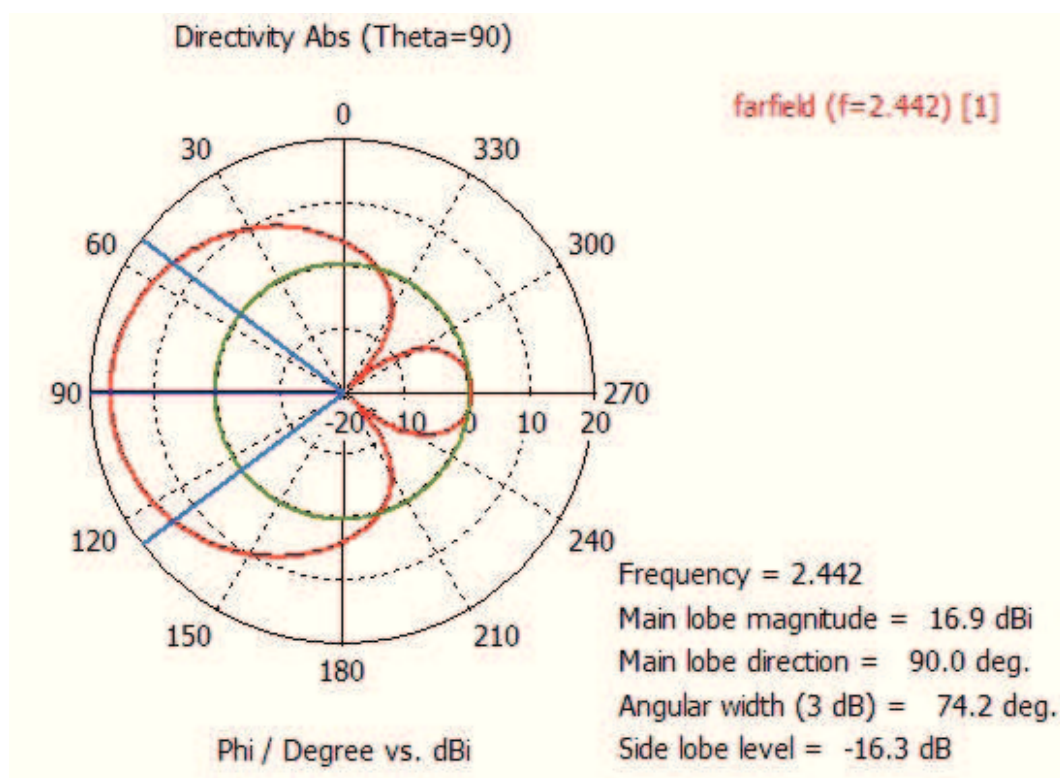
Obr. 3.6: Činiteľ odrazu S11.

Na obrázku 3.7 vidíme priebeh parametru S21. Oproti paramtru S11 sa líši tým, že kým hľadáme pri parametru S11 najnižší bod v danej frekvencii pri parametru S21 je to naopak. Preto môžeme vidieť, že najvyšší bod v rozsahu wifi (2,412-2,472GHz) je 2,422GHz, čo je tretí kanál vo wifi pásme.

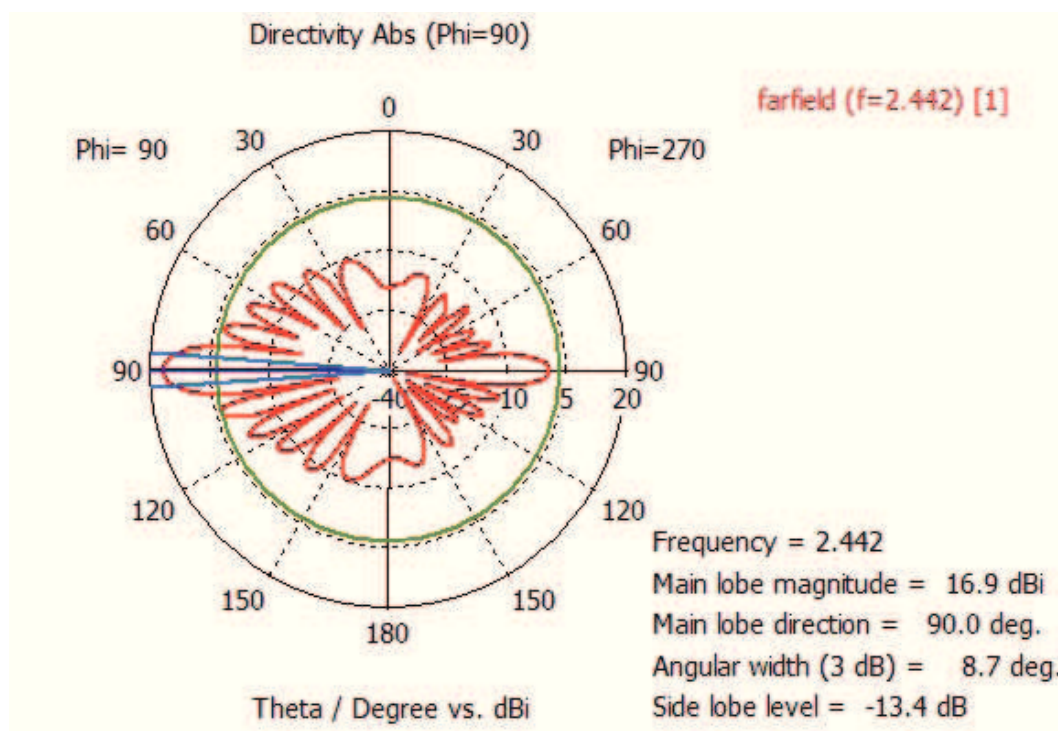


Obr. 3.7: Činiteľ odrazu S21.

Na nasledujúcich obrázkoch vidíme smerové charakteristiky, ktoré sú vyznačené červenou farbou. Modrou farbou je značený uhol vyžarovania. Pri porovnaní smerových charakteristík simulácie, ktoré vidíme na nasledujúcich obrázkoch s porovnaním typických smerových charakteristík v kapitole 2.5 môžeme vidieť, že sú si veľmi podobné a preto môžeme tvrdiť, že simulácia bola úspešná.



Obr. 3.8: Vyžarovací diagram v horizontálnej rovine.



Obr. 3.9: Vyžarovací diagram vo vertikálnej rovine.

3.3 Konštrukcia štrbinovej antény

Anténa je vyrobená z hliníku, pretože je veľmi ľahký a je dobrým vodičom elektrického prúdu. Ako prvé som začal pracovať na prednej strane antény. Rozrezal som plech a na ohýbal som ho podľa rozmerov, ktoré som sa snažil čím presnejšie dodržať, pretože na prednej strane záleží najviac. Keď som mal na ohýbanú prednú časť, začal som pracovať na zadnej strane. Keďže zadná strana slúži len ako uzávierka na prednú časť tak plech som na ohýbal do tvaru U. Šírku zadnej strany som zväčšil o 0,86mm z každej strany (čo je aj hrúbka plechu) aby mi predná časť zapadla do zadnej strany. Keď som mal plechy na ohýbané vrátil som sa k prednej časti, na ktorú som si narysoval Offset čo je v podstate polovica dĺžky kratšej strany. Postupne som si rozrysoval každú štrbinu. Po rozrysovaní som si upevnil prednú stranu antény a vyvŕtal som 5mm vrtákom po tri diery do každej štrbiny. Diery do štrbín som vŕtal kvôli tomu aby som nemal takú veľkú plochu pilníkovania. Postupne som si vypilníkoval všetky štrbiny podľa rozmerov.

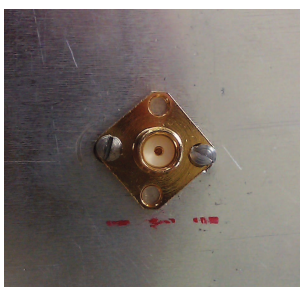


Obr. 3.10: Predná a zadná časť štrbinovej antény.



Obr. 3.11: Štrbinová anténa z prednej strany.

Keď som mal základnú konštrukciu hotovú prešiel som na napájanie antény. Podľa výpočtov malo byť 30mm od spodnej časti antény a 10mm na ľavo od Offsetu. Po rozrysovaní som vyvŕtal dieru 6mm vrtákom priložil som si do nej SMA konektor a označil som body na prichytenie konektoru. Do označených bodov som vyvŕtal diery, ale už menším vrtákom. Priskrutkoval som tam SMA konektor. Konektor mal z vnútra antény krátky vodič, preto som musel pripájať drôt k vodiču aby som dodržal vypočítanú dĺžku vodiča, ktorá mala byť 20,3mm. Po zhotovení napájania som priskrutkoval prednú a zadnú časť antény pre lepšiu stabilitu. Nakoniec je anténa napájaná tenkým koaxiálnym káblom RG174 (50Ω) s konektormi RSMA(reverzný SMA).



Obr. 3.12: Konektor SMA v anténe.



Obr. 3.13: Reverzný SMA konektor.

3.4 Meranie štrbinovej antény

Anténa bola zmeraná na spektrálnom analyzátore R&S/FSH8. Má frekvenčný rozsah od 9kHz až do 3,6GHz alebo 8GHz. Je ľahko ovládateľný a je prevažne určený pre prácu v teréne. Obsahuje funkcie pre meranie všetkých dôležitých úloh, ktoré súvisia s uvedením do prevádzky a údržby vysielacích systémoch.



Obr. 3.14: Fotka z pracoviska.

Na nasledujúcom obrázku vidíme nameraný činiteľ odrazu. Symboly M_2, M_1 a M_3 sa nazývajú markery. Marker M_2 a M_3 značia rozsah wifi pásma. Marker M_1 značí bod, kde anténa najlepšie rezonuje v našom prípade na frekvencii 2,432GHz, čo značí 5 kanál vo wifi pásme.



Obr. 3.15: Nameraný priebeh činiteľa odrazu.

Ak mám porovnať skonštruovanú anténu s nasimulovanú je vidieť, že pri simulácii anténa rezonuje na frekvencii $f=2,3836\text{GHz}$ a pri meraní nám rezonuje na frekvencii $f=2,432\text{GHz}$. Z toho je jasné, že chyba, ktorá vznikla je zapríčinená zaokrúhľovaním hodnôt a nie príliš presným rozrysovaním rozmerov na plech. Na dodržanie presných rozmerov je potrebné mať kvalitnejšie náradie a dobre k tomu prispôbenú miestnosť. Aj napriek odchýlke je táto anténa provozuschopná vo wifi pásme.

4 Záver

Prvým cieľom bakalárskej práce bolo zoznámiť sa s pojmom štrbinová anténa. Odbornú literatúru k tejto téme som čerpal z kníh a internetu. V Práci popisujem čo to je vlastne štrbinová anténa, načo slúži, v akých kmitočtoch pracuje a kde sa používa. V práci rozoberám aj základné druhy štrbinovej antény, kde patrí Vivaldiho anténa a Vrubová anténa. Z odbornej literatúry som taktiež zistil ako môže byť anténa napájaná a zistil som si ďalšie potrebné údaje ktoré som potreboval pri zhotovení antény. Bakalársku prácu som doplnil obrázkami na lepšie pochopenie danej témy.

Hlavnou náplňou bolo nasimulovať štrbinovú anténu a zostrojiť ju. Veľkým prínosom pre mňa bola práca v CST Microwave Studio 2012. Je to veľmi obsiahly program, ktorý má veľa modulov. Ja som potreboval k svojej práci modul CST Studio Suite, pre ktorý som našiel veľa literatúr ako správne nasimulovať anténu. Správnosť nasimulovania antény som si overil z výsledkov simulácie, kde mi vyšlo veľmi dobré impedančné prispôsobenie.

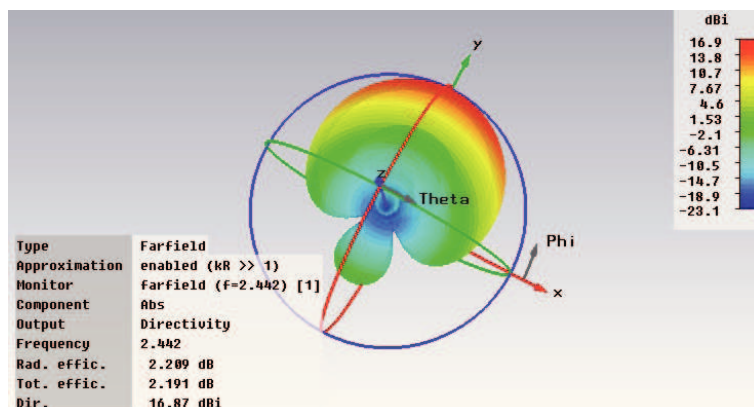
Anténa bola vyrobená z hliníku do ktorého boli vyrezané jednotlivé štrbiny. Anténa bola pomeraná a zistilo sa, že najlepšie rezonuje na frekvencii $f=2,432\text{GHz}$ ako nám ukázal spektrálny analyzátor R&S/FSH8.

Práca na túto tému ma dosť zaujala, bavila a bola pre mňa veľkým prínosom. Dozvedel som sa podrobnejšie veci ohľadom štrbinovej antény, dokonca som si ju aj vyskúšal zhotoviť. Výsledkom práce je zostrojená štrbinová anténa, ktorá veľmi dobre poslúži pre školu na výukové účely.

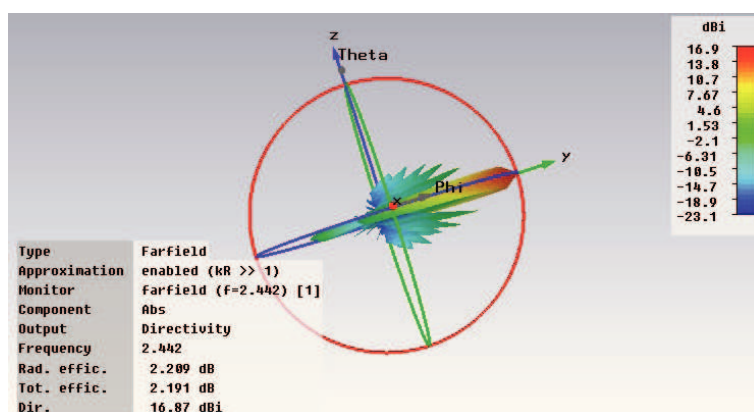
5 Literatura

- [1] Baník I., Baník R. *Elektromagnetické vlny*. [cit. 2012-04-26]. Dostupné z: http://web.svf.stuba.sk/kat/FYZ/fyzika_ta_vola/skripta/other/elmg-vlny.pdf
- [2] Wade P. *The W1GHZ Online Microwave Antenna Book*. [online]. 1994,1995,1996,1997,1998,1999,2000,2001,2002,2003 [cit. 2012-04-26]. Dostupné z: <http://www.qsl.net/n1bwt/contents.htm>
- [3] CST STUDIO SUITE. [cit. 2012-05-02]. Dostupné z: http://www.cst.com/Content/Products/CST_S2/Overview.aspx
- [4] HUANG Yi a Kevin BOYLE. *ANTENNAS FROM THEORY TO PRACTICE*. ANTENNAS FROM THEORY TO PRACTICE [online]. University of Liverpool, UK [cit. 2012-04-30].
- [5] MATUSZCZYK, Jacek. *Antény prakticky*. 1. české vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2002. ISBN 80-7300-084-9.
- [6] KRAUS, John Daniel a Ronald J MARHEFKA. *Antennas for all applications*. 3rd ed. Boston: McGraw - Hill, c2001. ISBN 0-07-232103-2.
- [7] SILVER, Samuel. *Microwave antenna theory and design*. London, UK: P. Peregrinus on behalf of the Institution of Electrical Engineers, c1984. ISBN 0863410170.
- [8] Procházka M. *Anténa Vivaldi nové konstrukce*. Sdělovací technika. 1998, č. 1, s. 12-14
- [9] YVGVESSON, K. S. *Endfire Tapeted Slotline Antennas on Dielectric Substrates*. IEEE Transactions on Antennas and Propagation. 1985, vol. 33, no. 12, p. 1392-1400.
- [10] VIČAR, K. *Vivaldiho anténa. Ročníkový projekt 1*. FEI VUT v Brně, 2000.
- [11] Štěrbínová anténa. Štěrbínová sektorovka: [cit. 2012-04-30]. Dostupné z: <http://strizkov.wz.cz/sterbinovka/>
- [12] *Telekomunikační síte*. VŠB-Technická univerzita Ostrava. [cit. 2012-04-30]. Dostupné z: <http://moodle.kat440.vsb.cz/course/view.php?id=5>
- [13] *Frekvenčné pásmo* [online]. [cit. 2012-04-26]. Dostupné z: <http://kre.elf.stuba.sk/predmety/mvtar/R>
- [14] *Trocha teorie o měření PSV (ČSV, SWR)*. [cit. 2012-04-26]. Dostupné z: <http://www.volny.cz/cb16/psv.htm>

6 Prílohy

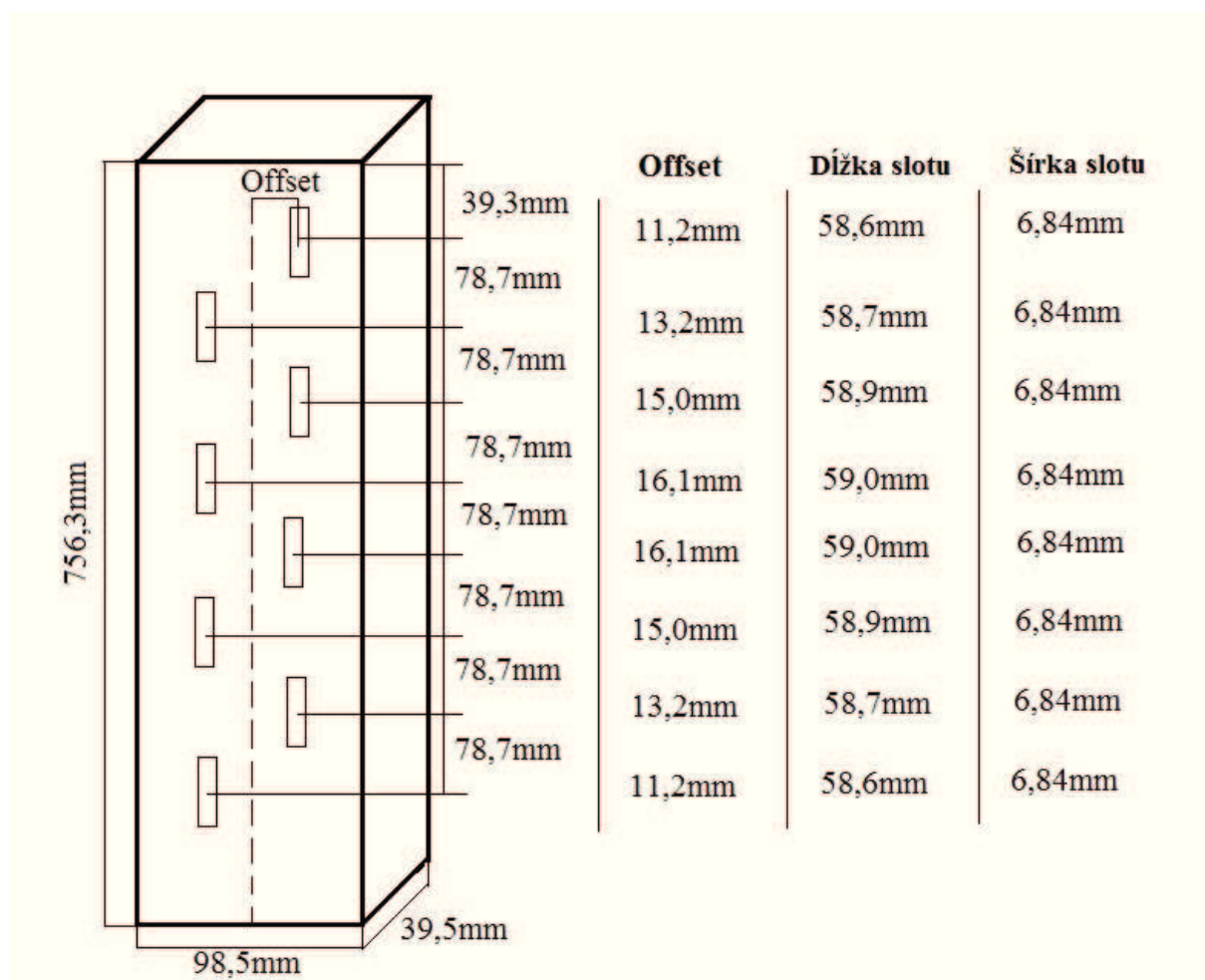


Obr. 6.1: Vyžarovací diagram v horizontálnej rovine v 3D.



Obr. 6.2: Vyžarovací diagram vo vertikálnej rovine v 3D.

Vypočítané rozmery štrbinovej antény:



Obr. 6.3: Rozmery štrbinovej antény